基于模糊神经网络的自适应单相自动重合闸

杨 伟, 彭 丽, 张俊芳, 吴军基
(南京理工大学动力工程学院,江苏 南京 210094)

摘要: 自动重合闸作为保证电力系统输电线路的安全运行,提高电力系统供电可靠性的自动装置,发挥了极其重要的作用,因而被广泛地应用在目前的输电线路上。但是现在的自动重合闸装置不具备判别瞬时还是永久故障的能力,当重合于永久故障时,会对系统造成严重的危害。该文主要引入模糊神经网络,对单相接地故障进行研究,实现单相自动重合闸的自适应性,即重合闸能自适应地判别故障的瞬时性与永久性。

关键词: 电力系统; 单相接地; 自适应重合闸; 模糊神经网络

中图分类号: TM762.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2005)15-0066-05

0 引言

在电力系统中,输电线路(特别是架空线路)最容易发生故障,因此,保证输电线路安全运行就显得很重要。电力系统的运行经验证明,架空线路的故障大多都是暂时性的,因此在电力系统中广泛采用了自动重合闸装置,这样在发生暂时性故障时,可以大大提高供电的可靠性。但是由于目前的自动重合闸装置不能判断故障的瞬时性与永久性,当发生故障后,自动重合闸装置总要重合一次,因此当重合于永久性故障时,会带来一些不利的后果[1]:

1) 电力系统又一次受到短路电流的冲击,有可能造成重合后电力系统的摇摆幅度增大,甚至可能使电力系统失去稳定性,对系统的安全运行造成严重危害。

2) 断路器在很短的时间内,连续两次切断故障电流,恶化了断路器的工作条件,减少了断路器的使用寿命。

3) 大型火电厂的高压出线上采用自动重合闸,有可能激发起汽轮发电机组轴系扭振,造成轴系某些部件或联轴器的断裂或损伤。

针对以上这些自动重合闸所带来的一些不利影响,提出了自适应重合闸,即这种重合闸装置要能够判断出发生的故障是瞬时的还是永久的,从而在瞬时故障时使断路器再一次重合,而在永久性故障时,断路器不再重合。这样将减小上述重合于永久故障时所带来的不利后果。

根据运行经验,在 110 kV以上的大接地电流系统的高压架空线路上,短路故障中 70%以上是单相接地短路,特别是 220～330 kV的架空线路,由于线间距离大,单相接地故障甚至可高达 90%左右。因此主要就单相接地故障进行研究,将模糊控制与神经网络相结合,利用模糊神经网络来构造智能型的自适应单相自动重合闸。

基金项目: 南京理工大学科研发展基金资助项目

1 微机型自适应单相自动重合闸

微机型的自适应单相自动重合闸主要是依据 80年代葛耀中教授提出来的电压判别法。理论分析和实验结果表明,这种方法简洁、明了,对部分线路能正确作出判断,但由于没有综合考虑系统参数的影响,对一些特殊工况,如长线路,有误判的可能,需要完善。

自适应单相自动重合闸的特点是在传统的单相自动重合闸中增加判别故障是瞬时性或永久性的功能。高压输电线具有分布参数的特征,并且在各相之间具有耦合作用,因此在断开发生单相接地的故障相后,故障相的两端仍有电压,这个电压可以用来预测故障是瞬时性还是永久性的。

1.1 瞬时性故障断开相两端电压

如果为瞬时性故障,当线路故障相两端断开后,短路点电弧很快熄灭,线路转入两相运行状态。断开相两端的电压由电容耦合电压与电感耦合电压两部分组成。

断开相上的电容耦合电压 U_y 可以近似表示为:

$$U_y = -U_A \frac{b_1 - b_0}{2b_1 + b_0}$$

其中: U_A 为 A相正常时的相电压矢量; b_1, b_0 为单位长线路的正序、零序容纳。

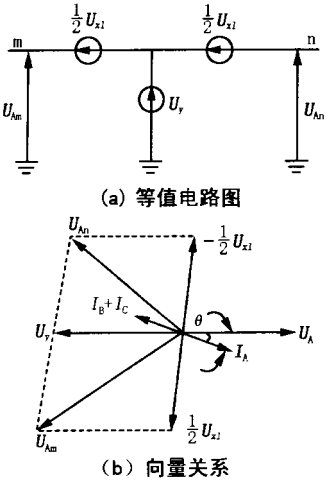
断开相上的电感耦合电压 U_{xl} 可以近似表示为:

$$U_{xl} = I_0 (Z_0 - Z_1) L = U_x L$$

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

其中：I_0为故障相断开后线路上流过的零序电流；Z_1为单位长线路的正序感抗；Z_0为单位长线路的零序感抗；U_x为单位长线路的电感耦合电压；L为输电线路长度。

电容耦合电压U_y与线路长度无关,是相对地的电压,而U_{xl}是在导线中感生的电压,其方向是沿导线的,它与线路长度成正比。下面将线路分布参数以T型等效来分析故障断开相上的端电压,则等值电路图如图1(a)所示。线路两端电压有如图1(b)所示的向量关系,则两端电压可以表示为：



(a) 等值电路图

(b) 向量关系

图1　断开相线路两端的电压

Fig 1　Port voltage of break phase

$$|U_{Am}| = \sqrt{U_y^2 + (U_{xl}/2)^2 - U_y U_{xl}\cos(90°+\theta)}$$

$$|U_{An}| = \sqrt{U_y^2 + (U_{xl}/2)^2 - U_y U_{xl}\cos(90°-\theta)}$$

其中：θ为功率因数角。

若以m表示电容耦合电压与电感耦合电压的比值,则

$$m = U_y / U_{xl}$$

故障相两端的电压又可以表示为：

$$|U_{Am}| = U_{xl}\sqrt{m^2 + m\sin\theta + 1/4}$$

$$|U_{An}| = U_{xl}\sqrt{m^2 - m\sin\theta + 1/4}$$

当$\theta = 0$时,则

$$U_{Am} = U_{An} = U_{xl}\sqrt{m^2 + 1/4}$$

1.2　永久性故障时断开相两端电压

当线路发生单相永久接地时,线路断开相两端的电压由接地点位置、健全相负荷电流和过渡电阻R_F决定。金属接地短路时,过渡电阻$R_F = 0$,线路对地电容C_0放电,这时$U_y = 0$,可以不考虑由电容产生的电压分量。断开相两端的电压由互感电压U_x和接地点位置决定。

设接地点距m端的距离为k,则m端的电压为

$$U_{Am} = kU_{xl}$$

n端的电压为：

$$U_{An} = -(L-k)U_{xl}$$

1.3　电压判据及存在的问题

电压判别法也就是将断开相的端电压与电感耦合电压的比值作为判别的条件。

令$CV = \left|\frac{U}{U_{xl}}\right|$,则当$CV > 1$时,判为瞬时故障；当$CV < 1$时,判为永久故障。

上述的电压判别法对于一定长度的输电线路适用,而对于重负荷长距离的高压输电线路就存在误判的可能。

为了分析上的方便,令功率因数角$\theta = 0°$则对于瞬时性故障,当$\sqrt{m^2 + 1/4} \le 1$时,即$0 \le m \le \sqrt{3}/2$时,$U_{Am} = U_{An} \le U_{xl}$

此时根据电压判别法知$CV \le 1$,则会将瞬时性故障判为永久性故障。

由于U_y与U_{xl}是相互独立的,m受到电网结构、运行方式、线路参数等因素的影响,落在$[0, \sqrt{3}/2]$上的可能性是存在的。

而对于永久性故障,由上述分析可知,故障断开相的端电压是与接地点的位置有关的,当在线路末端,即n端发生金属性接地短路时,理论上这时$U_{An} = 0$,$U_{Am} = U_{xl}$,但电网参数、电流电压测量值、计算值会有一定的误差,这时可能会使$U_{Am} > U_{xl}$,故根据电压判别法,将永久性故障判为瞬时性故障。

2　智能型自适应单相自动重合闸

2.1　模糊神经网络

神经网络技术和模糊控制技术都属于人工智能技术的两个重要分支领域,两者在处理和解决问题时都不依赖于精确的数学模型,对信息的加工处理均表现出很强的容错能力,也都适用于具有不确定性或非线性的控制系统中,同时,它们又都具有各自不同的特点,具有较强的互补性。

神经网络具有较强的自适应和自学习的能力,但它需要大量描述过程特性的数据信息,学习完成后形成的神经网络的输出与输入关系无法用容易的方式进行表达,不具备处理和描述模糊信息的能力。模糊控制恰好具备处理模糊语言信息的能力,容易建立易于被人所理解的“if-then”结构的表达形式,有利于模拟人类思维进行判断和决策。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

模糊控制的前提是关于被控过程经验的存在,另外,人们还必须能够将这些经验用控制率、语言变量和模糊隶属函数描述出来,但是在很多控制过程中,人们一般只知道这些过程量之间的关系,而无法将这些关系描述出来,而且模糊控制缺乏自学习和自适应的能力,这种情况下就可以考虑用神经网络来描述这些关系。

如果将人工神经网络与模糊控制结合起来,使神经网络具备处理模糊信息的功能,则为模糊规则的自动提取和模糊隶属函数的自动生成问题提供了有效的途径,使得模糊控制具备了学习能力,使得由二者结合的控制系统不仅具有了处理不确定性、不精确性的能力,还具有了自学习、自适应的能力,从而构造出一种能自动处理模糊信息的工具——模糊神经网络,并通过模糊神经网络的参数学习过程提取模糊控制,使控制器达到最优控制功能。

2.2 模糊神经网络的模型

在模糊系统中,模糊模型的表示主要有两种:

1) 模糊规则的后件是输出量的某一模糊集合,如 NB, PB等,这是最常碰到的情况,因而称它为模糊系统的标准模型表示。

2) 模糊规则的后件是输入语言变量的函数,典型的情况是输入变量的线性组合。由于该方法是 Takagi和 Sugeno首先提出来的,因此通常称为模糊系统的 Takagi - Sugeno模型,简称 T - S模型。

由于用于判断瞬时与永久故障的模糊神经网络的输出比较简单,所以本文采用标准模糊神经网络。

2.3 智能型自适应单相自动重合闸模糊神经网络模型

用于判断单相接地瞬时与永久故障的模糊神经网络如图 2所示。

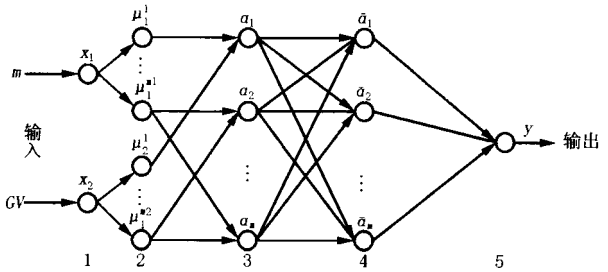


图 2 模糊神经网络结构图

Fig 2 Architectrue of FNN

这是一个两输入一输出的模糊神经网络,定义输出量为“0”时判断为瞬时故障,当输出量为“1”时判断为永久故障。

对输入量的确定,考虑到发生故障断路器跳开后,故障相的端压中不仅有工频分量、衰减的直流分量,还有许多高频分量,所以用滤波器滤去端压中的直流分量与高频分量,只提取工频分量。所以将故障相端压的工频分量与电感耦合电压的比值 *GV*及电容耦合电压与电感耦合电压的比值 *m* 作为模糊神经网络的两个输入。通过建立的 Matlab仿真模型仿真得出的数据,在一定的功率因数角 θ下,瞬时故障时,无论接地点、接地电阻如何,故障相端压工频分量与电感耦合电压的比值 *GV* 基本上是不变的,而永久故障时,这一比值是随着接地点、接地电阻的增大而增大。正是利用这一特点,就可以实现模糊神经网络正确地对瞬时与永久故障的判断。

3 仿真及结果

3.1 仿真系统结构图

500 kV的仿真系统结构图如图 3所示。该系统是一个简单的单机对无穷大系统,且输电线路也没有考虑带并联电抗器。

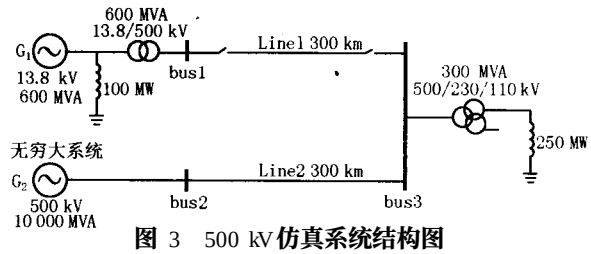


图 3 500 kV仿真系统结构图

Fig 3 Structure of 500 kV simulation system

其中线路参数为:

$Z_1 = 0.012\ 73 + j0.293$ $Z_0 = 0.386\ 4 + j1.296$

$C_1 = 0.012\ 74\ \mu F$ $C_0 = 0.007\ 751\ \mu F$

3.2 Matlab仿真

本文所用的学习样本都是在 Matlab里仿真所得到的,主要是利用 Matlab-Simulink中的 Power Systems电力系统模块来搭建上述的 500 kV系统图。所建立的仿真模型如图 4所示。

本文中所用的学习样本与测试样本就是通过这个模型仿真得来的,且在 B4点测得。学习样本是以故障点为线路全长的 0%、10%、30%、50%、70%、90%、100%及在这些故障点接地电阻分别为 0、100、300 Ω所测得的。测试样本则是以故障点为线路全长的 20%、40%、60%、80%处测得。

图 5是当在线路的 90% (270 km)处发生瞬时 A相接地故障时,接地电阻为 0,利用巴特沃斯滤波器滤出的 A相工频端电压及有效值。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

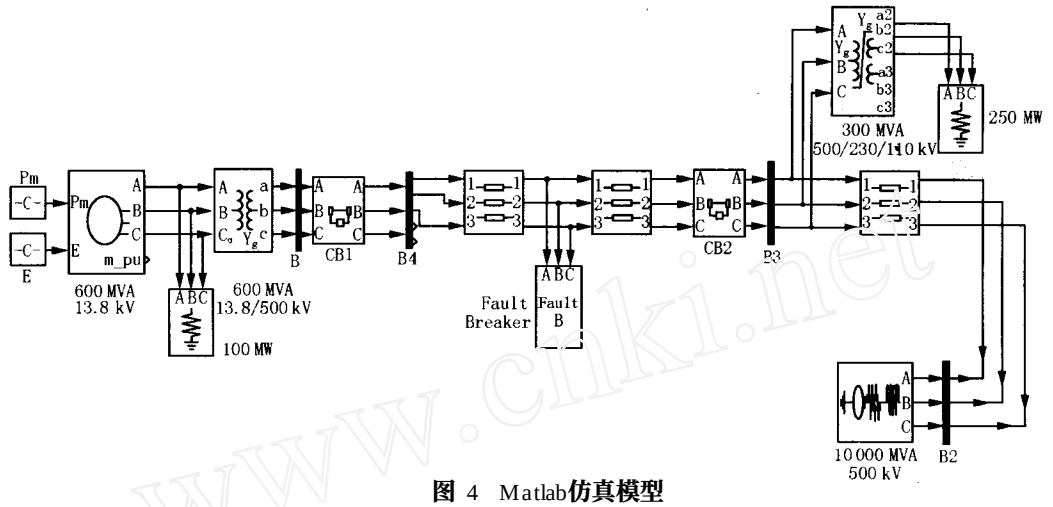


图 4　Matlab仿真模型

Fig 4　Simulation model of Matlab

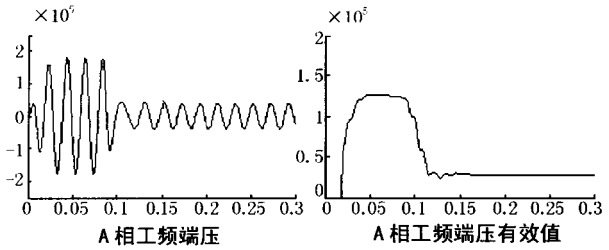


图 5　瞬时故障 A相工频端压与有效值

Fig 5　Power-frequency port voltage and RMS value of phase A of instantaneous fault

图 6是当在线路的 90% (270 km)处发生永久A相接地故障时,接地电阻为 0,利用巴特沃斯滤波器滤出的 A相工频端电压及有效值。

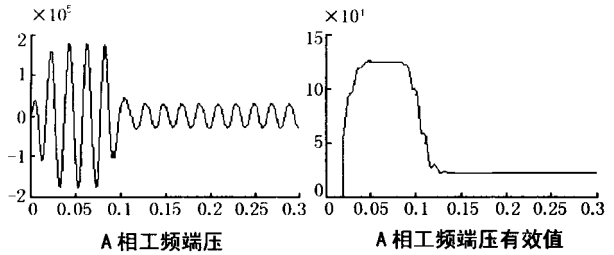


图 6　永久故障 A相工频端压与有效值

Fig 6　Power-frequency port voltage and RMS value of phase A of permanent fault

3.3　模糊神经网络训练结果与检验样本举例

利用上述仿真模型,分别对 A、B、C三相不同接地点,不同接地电阻进行仿真,共仿真出 198对数据,并从中选取出 20对数据,将这些数据输入模糊神经网络,对该网络进行训练。当该模糊神经网络的学习率 lr为 0.6,全局性误差为 0.001,则模糊神经网络的收敛曲线图如图 7所示。该模糊神经网络经过 15步收敛成功。

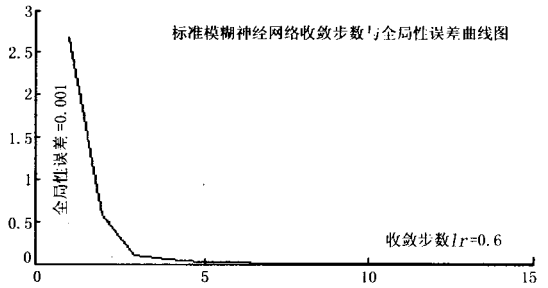


图 7　模糊神经网络收敛曲线图

Fig 7　Convergence diagram of FNN

对 A相发生单相接地故障,接地电阻为 200 Ω的情况进行了测试,输出的数据如表 1所示。

从网络测试的结果可以看出,实际结果与理论结果非常接近,训练好的模糊神经网络能够很好地实现对单相接地故障瞬时与永久故障的判别,因而正确地解决了原有电压判据存在的不足。

表 1　部分检验样本与结果

Tab. 1　Part check samples and their results

故障距离	故障类型	m值	GV值	实际输出	理想输出
20%	瞬时	0.88	0.57	0.001 374 3	0
	永久	0.86	0.21	1	1
40%	瞬时	0.88	0.57	0.001 374 3	0
	永久	0.87	0.31	1	1
60%	瞬时	0.88	0.57	0.001 374 3	0
	永久	0.87	0.4	1	1
80%	瞬时	0.88	0.57	0.001 374 3	0
	永久	0.87	0.5	0.996 71	1
100%	瞬时	0.88	0.57	0.001 374 3	0
	永久	0.88	0.6	1.002 1	1

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结论

本文指出了原有电压判据存在的问题,并引入模糊神经网络,结合模糊控制与神经网络各自的优点,将其应用于单相自动重合闸中,实现智能型自适应单相自动重合闸,从仿真结果可看出,此方案具有可行性。

参考文献:

[1] 袁越,张保会. 电力系统自动重合闸研究的现状与展望[J]. 中国电力, 1997, 30(10): 45-47.
YUAN Yue, ZHANG Bao-hui. Present State and Prospect of Power System Automatic Recloser Research[J]. Electric Power, 1997, 30(10): 45-47.

[2] 孙增圻,等. 智能控制理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社,广西科学技术出版社, 2002.
SUN Zeng-qi, et al. Intelligent Control Theory and Technology[M]. Beijing: Qinghua University Press, Guangxi Science and Technology Press, 2002.

[3] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1996.
GE Yao-zhong. New Types of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.

[4] 闻新,周露,李翔,等. MATLAB 神经网络仿真与应用[M]. 北京:科学出版社, 2003.
WEN Xin, ZHOU Lu, LI Xiang, et al. MATLAB Simulation and ANN[M]. Beijing: Science Press, 2003.

[5] GE Yao-zhong, SUI Fong-hai, XIAO Yuan. Rediction Methods for Reventing Single-phase Reclosing on Permanent Fault[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4(1): 114-121.

收稿日期: 2004-11-10

作者简介:

杨 伟(1965 -),男,副教授,从事电力系统及其自动化方面的教学与研究工作; E-mail: yangwei4320@sina.com

彭 丽(1978 -),女,硕士,研究方向为电力系统继电保护;

张俊芳(1965 -),女,副教授,主要从事电力系统自动化方面的研究工作;

吴军基(1955 -),男,教授,博士生导师,从事电力系统及其自动化、电力市场等方面的教学与研究工作。

Adapative autoreclosure of single phase based on FNN

YANG Wei, PENG Li, ZHANG Jun-fang, WU Jun-ji

(School of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Autoreclosure is a piece of very important equipment that guarantee security operation of power line and improve reliability of power supply, so the autoreclosure is widely applied in transmission line. However, autoreclosure has not the ability to distinguish instantaneous faults and permanent faults presently. When autoreclosure recloses on permanent faults, there will be a severe harm to power system. The paper mainly research single-phase adaptive autoreclosure based on FNN, namely autoreclosure can distinguish instantaneous faults and permanent faults.

Key words: power system; single-phase faults earth; adaptive autoreclosure; FNN

(上接第 65页 continued from page 65)

收稿日期: 2004-11-10; **修回日期**: 2005-03-01

作者简介:

肖 冰(1980 -),女,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: ice_119_angel@mail.sdu.edu.cn

梁 军(1956 -),男,教授,主要从事电力系统运行与控制方向的研究。

Application of Hilbert transform in voltage flicker detecting

XIAO Bing, LIANG Jun, LU Ping, YUN Zhi-hao

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: Hilbert transform (HT) are introduced in this paper as an effective approach for detecting voltage flicker levels in distribution systems. To implement the HT, an equiripple filter is designed. Compared with the commonly used algorithms in the literature, the proposed technique is simpler in mathematics, and is implemented easily. Moreover, the HT is capable of detecting the variations of the voltage flicker and supplying frequency with high precision in distribution systems. Such accurate detecting facilitates the implementation of the control of flicker mitigation devices. Many different voltage flicker signals are adopted to validate the approach. Matlab simulations of the proposed approach for detecting voltage flicker that profile the different factors affecting detecting accuracy are presented. The simulation results are provided to verify the detecting capabilities of the HT and indicate its superior performance in detecting voltage flicker.

Key words: Hilbert transform; voltage flicker; equiripple filter; voltage envelope detection

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net